
Segmentoinnin vertailu harva- ja tiheäpulssisella laserkei- lausaineistolla

Opinnäytetyö



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Metsätalouden koulutusohjelma

Evo, kevät 2015

Ossi Hämylä

Ossi Hämylä



Evo
Metsätalouden koulutusohjelma

| | | |
|------------------|--|-------------------|
| Tekijä | Ossi Hämylä | Vuosi 2015 |
| Työn nimi | Segmentoinnin vertailu harva- ja tiheäpulsisella laserkeilausaineistolla | |

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö on osa Evon opetusmetsälle tehtävää metsäsuunnitelmaa. Siinä opetusmetsän alueelle tehtiin Arbonaut Oy Ltd:n ArboLiDAR-kuviointityökaluilla laserkeilaus- ja ilmakeilaus-aineistojen pohjalta kuviointi. Kuvioinnissa käytettiin sekä harva- että tiheäpulsista laserkeilausaineistoa. Tavoitteena oli verrata aikaansaatuja kuvioita ja selvittää onko laserkeilausaineiston pulssitiheydellä vaikutusta tuotettuihin kuvioihin.

Automaattikuviointi tehtiin ArcMap:ssa ArboLiDAR-työkaluilla. Työssä käytettiin myös ArcMap:n omia työkaluja sekä LAsToolsia. Laserkeilaus-, ilmakeilaus- ja koeala-aineistot olivat peräisin opetusmetsän omista aineistoista. Loput aineistot hankittiin Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tiedostopalvelusta.

Työn tuloksena selvisi, että tiheäpulsista laserkeilausaineistoa käyttämällä saadaan aikaan hieman parempi kuviointi kuin harvaa aineistoa käyttämällä. Molemmissa esiintyy kuitenkin virheitä, eivätkä ne sovi sellaiseen lopulliseksi kuvioiksi. Tavallisen metsäsuunnittelun kannalta tiheällä aineistolla tuotettujen kuvioiden paremmalla laadulla ei todennäköisesti ole suurta merkitystä.

Avainsanat Laserkeilaus, metsäsuunnittelu, segmentointi

Sivut 18s.

Evo
Degree Programme in Forestry

Author

Ossi Hämylä

Year 2015

Subject of Bachelor's thesis

Comparing Stand Segmentations with Laser
Scanning Data of Low and High Pulse Density

ABSTRACT

This thesis is a part of a forest plan made for Evo educational forest. In it Arbonaut Oy Ltd's ArboLiDAR stand delineation tools were used to create forest stands in the area based on data from laser scanning and aerial images. It was made using laser scanning data with both high and low pulse density. The purpose of this thesis was to compare generated stands with each other and determine whether the pulse density of laser scanning data has an effect on the final result.

The automatic stand delineation was made in ArcMap using ArboLiDAR stand delineation tools. In the thesis ArcMap's own tools and LAStools were also used. Laser scanning data, aerial images and field plot data used were materials of Evo educational forest. The rest of the materials were acquired from the open data of the file service of National Land Survey of Finland.

The conclusion of the thesis was that stand delineation with laser scanning data of high pulse density generates slightly better stands than with low density. However in both of them errors can be found and neither of them are suitable to be used as final forest stands as such. For the purposes of conventional forest planning the better quality gained by high density laser scanning data is probably not significant.

Keywords Laser scanning, forest planning, segmentation

Pages 18 p.

SISÄLLYS

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | AUTOMAATTINEN KUVIOINTI METSÄSUUNNITTELUSSA | 2 |
| 2.1 | Laserkeilaus ja ilmakuvat | 2 |
| 2.2 | Automaattinen kuviointi | 3 |
| 3 | TYÖSSÄ KÄYTETYT AINEISTOT | 4 |
| 3.1 | Lasekeilausaineisto | 4 |
| 3.2 | Ilmakuva | 5 |
| 3.3 | Muut | 6 |
| 4 | LIDAR- AINEISTON ESIKÄSITTELY | 6 |
| 4.1 | Lentolinjojen päällekkäisyyksien poistaminen | 6 |
| 4.2 | Korkeuden normalisointi | 6 |
| 5 | KUVIOINTIRASTERIN TEKEMINEN | 7 |
| 6 | TILARAJAT JA MASKIT | 9 |
| 7 | AUTOMAATTINEN KUVIOINTI | 10 |
| 7.1 | Segmenttien tekeminen | 10 |
| 7.2 | Segmenttien yhdistely | 11 |
| 8 | VIIMEISTELY | 12 |
| 9 | TULOSTEN TARKASTELU | 13 |
| 10 | JOHTOPÄÄTÖKSET | 17 |
| | LÄHTEET | 18 |

1 JOHDANTO

Metsiä inventoidaan sekä strategisen että operatiivisen suunnittelun tarpeisiin. Strategisessa suunnittelussa metsien tilaa ja kehitystä seurataan suuressa mittakaavassa, kuten valtakunnan metsien inventoinnissa tehdään koko valtakunnan alueella. Operatiivisessa suunnittelussa tavoitteena on kartoittaa metsäalueiden hakkuumahdollisuudet, hakkuukertymät ja toimenpiteet. (Holopainen, Hyypä, Vastaranta & Hyypä 2011, 128)

Kansallisessa metsäohjelmassa 2015 yksi metsätalouden kehittämisen tavoitteista on kotimaisen puun käytön lisääminen. Tapoja sen lisäämiseksi ovat muun muassa puukaupan edellytyksien edistäminen tuottamalla metsänomistajille ajantasaista metsävaratietoa ja kehittää metsänomistajien palvelutoimintaa. (Kansallinen metsäohjelma 2015 2008, 7.) Metsäsuunnittelun osalta näitä tavoitteita voidaan saavuttaa esimerkiksi hyödyntämällä paikkatietoa. Erityisesti laserkeilaus- ja ilmakuva- aineistoa voidaan nykyään käyttää sekä puustotunnusten estimoinnissa että kuvioinnin apuvälineenä. Kehittämällä näitä menetelmiä metsäsuunnittelusta saadaan tehokkaampaa. Sitä kautta myös yksityiselle metsänomistajalle voidaan tuottaa edullisempia ja parempia palveluita. Yksityismetsänomistajat omistavat Suomen puuntuotannon metsätalousmaasta 61 prosenttia ja puuntuotannon puuston kokonaistilavuudesta 64 prosenttia. (Metsätilastollinen vuosikirja 2013, 36.)

Puustotunnuksia pystytään tuottamaan laserkeilausaineiston avulla entistä tehokkaammin. Erityisesti kasvatus- ja uudistuskypsissä metsiköissä puustotunnuksia voidaan estimoida tinkimättä tarkkuudesta. Sen avulla suunnittelussa päästään myös eroon ennalta määrätyistä kuviorajoista, kun inventointiyksiköistä voidaan jälkeenpäin muodostaa helposti halutunlaisia toimenpidekuvioita. (Holopainen, Hyypä, Vastaranta & Hyypä 2011, 129).

Metsäsuunnitteluprosessissa aikaa vievin ja kallein työvaihe on maastotyö. Yksi vaihe, jossa suunnitteluprosessia voidaan tehostaa, on kuvioinnin muodostaminen. (Sell 2002, 500.) Kuviointiprosessia nopeuttamaan on kehitetty erilaisia automaattisia segmentointimenetelmiä. Segmentointi tarkoittaa kuvan jakamista spatiaalisesti jatkuviin toisensa poissulkeviin osa-alueisiin, jotka ovat homogeenisia tiettyjen ominaisuuksien suhteen (Sell 2002, 500). Segmentointi voi olla joko puoliautomaattista tai automaattista. Puoliautomaattisessa kuvatulkinnassa hyödynnetään sekä automaattista että visuaalista kuvatulkintaa. Tällöin alueelle tehdään ensin tietokoneella automaattinen esitulkinta, jonka jälkeen ihminen tarkastaa sen visuaalisesti ja tekee tarvittavat muokkaukset. Automaattisessa kuvatulkinnassa tietokone luokittelee kuvalla näkyvät kohteet sävyarvon, sijainnin tai naapuruston ja taustatietämyksen perusteella. (Sell 2002, 500).

Tässä työssä selvitettiin millä tavoilla käytettävän laserkeilausaineiston tiheys vaikuttaa laserkeilausaineistoon ja ilmakuviin perustuvan automaattikuvioinnin lopputulokseen. Kuvioinnissa käytettiin Arbonaut Oy Ltd:n

ArboLiDAR kuviointityökaluja. Työ tehtiin täysin automaattisena kuvatulkintana, eli automaattisilla menetelmillä pyrittiin pääsemään mahdollisimman lähelle lopullista kuviointia. Työn perimmäinen kysymys oli: Saadaanko tiheän laseraineiston pohjalta aikaiseksi laadultaan parempi kuviointi, ja jos näin on, ovatko saavutetut hyödyt niin suuret, että vastaisuudessa kuviointiin kannattaisi käyttää tiheää aineistoa?

Kuviointi tehtiin Evon opetusmetsän n. 2 070 ha alueelle. Työssä tarkasteltiin lähinnä lopullisten kuviointien laatua, eikä kustannuksia otettu tässä työssä huomioon. Työ oli osa Evon opetusmetsälle tehtävää metsäsuunnittelmaa.

2 AUTOMAATTINEN KUVIOINTI METSÄSUUNNITTELUSSA

2.1 Laserkeilaus ja ilmakuvat

Lentolaserkeilauksessa keilattavasta kohteesta tuotetaan kolmiulotteista informaatiota. Sen toiminta perustuu keilaimen lähettämiin laserpulsseihin, joiden heijastumien sijainti paikannetaan pulssin kulkuajan ja keilaimen GPS koordinaattien perusteella. Tuloksena kohteesta saadaan kolmiulotteinen pistepilvi. (Holopainen, Hyyppä & Vastaranta 2013, 11-13.)

Metsien laserkeilaus voidaan tehdä joko aluepohjaisella menetelmällä tai yksinpuintulkintana. Puista voidaan mitata fysikaalisia ominaisuuksia suoraan kolmiulotteisesta pistepilvestä tai voidaan hyödyntää ennustettavien tunnusten ja pistepilvistä laskettujen piirteiden tilastollisia riippuvuussuhteita. Aluepohjaisessa tulkinnassa voidaan käyttää harvapulssista, eli pulssitiheydeltään 0,5-2 pulssia neliömetrillä olevaa laserkeilausaineistoa. Yksinpuintulkinnassa tarvitaan tiheämpää, eli yli 2 pulssia neliömetrillä olevaa aineistoa. (Holopainen, Hyyppä & Vastaranta 2013, 21.)

Metsäsuunnittelun osalta metsien inventoinnissa ollaan siirtymässä maastoinventoinnista entistä enemmän aluepohjaisen laserkeilausinventoinnin hyödyntämiseen. Metsien puustotunnuksia voidaan ennustaa hyödyntämällä harvapulssista laserkeilausaineistoa, ilmakuvia ja tarkasti mitattuja ja paikannettuja maastokoealoja. Tarkkuudessa menetelmällä päästään puulajitasolla vähintään perinteisen kuvioittaisen arvioinnin tasolle. Kokonaistunnuksen osalta se on huomattavasti tarkempi. Puulajisuhteet pystytään ennustamaan pelkästään laserkeilausaineiston avulla, jos pulssitiheys on tarpeeksi korkea. Kun pulssitiheys on alhainen, käytetään apuna myös ilmakuvista laskettua tietoa. (Holopainen, Hyyppä & Vastaranta 2013, 37 & 52.)

2.2 Automaattinen kuviointi

Kuvioittaisessa arvioinnissa metsäalue jaetaan kuvioiksi, joita käytetään samaan aikaan sekä inventointi- että toimenpideyksiköinä. Näiden tavoitteiden sovittaminen yhteen lisää metsäsuunnittelutyön vaativuutta. Kuviointeja voi olla monenlaisia riippuen sen tavoitteista. Kuvio voi olla esimerkiksi metsikkökuvio, inventointikuvio, talouskuvio tai seurantakuvio. Lopullisessa kuvioinnissa edellä mainittuja on enemmän tai vähemmän yhdistelty. Kuviointi on aina subjektiivista, eikä yhtä oikeaa kuviointia ole olemassa. (Poso 1997, 88- 89.)

Yksi automaattisten kuviointimenetelmien hyödyistä on, että niiden avulla kuviorajoista voidaan tehdä objektiivisempia. Visuaalisella kuvatulkinnalla tehdyssä kuvioinneissa eri henkilöiden välillä esiintyy eroja lopputuloksessa. (Sell 2002, 500). Vanhoilla menetelmillä tehdyissä kuvioissa voi esiintyä monenlaisia sijaintivirheitä, johtuen esimerkiksi ilmakuvan riittämättömästä tarkkuudesta. Joissain tapauksissa raja-
aus on saattanut myös muuttua edellisestä inventointiajankohdasta esimerkiksi tehtyjen metsänhoitotoimenpiteiden takia. Toisinaan taas kuviointi on saatettu tehdä sellaisen ilmakuvan pohjalta, jota ei ole orto-oikaistu. Vanhimmat kuviot on saatettu tehdä käsin esimerkiksi paperisen ilmakuvan pohjalta. (Tuominen & Pekkarinen 2007, 87 – 88.) Objektiivisuuden lisäksi automaattisilla menetelmillä saadaan kuviorajoista myös tarkempia.

Kuviorajojen korjaaminen manuaalisesti on työlästä ja aikaa vievää. (Tuominen & Pekkarinen 2007, 88). Automaattisilla tai puoliautomaattisilla kuviointimenetelmillä voidaan nopeuttaa tätä prosessia. Toinen vaihtoehto on tehdä täysin uusi kuviointi. Automaattiset kuviointimenetelmät tuottavat perinteistä kuviointia enemmän kuviorajaa, mutta ylimääräisten rajojen poistaminen ihmistyönä on nopeampaa kuin käsin tehty digitointi (Tuominen & Pekkarinen 2007, 96).

Automaattisista segmenteistä voidaan muodostaa lopullisia kuvioita usealla eri tavalla. Yksi tapa on muokata segmenttien pohjalta kuviot täysin vanhojen kuvioden pohjalta, jolloin kuviot pysyvät samoina, mutta rajoista tulee tarkemmat. Toinen tapa on käyttää mallina vanhoja kuvioita, mutta muokata ilmakuvasta selkeästi erottuvat kohteet uusiksi kuvioikseen. Kolmas tapa on tehdä automaattisilla menetelmillä täysin uusi kuviointi. (Tuominen & Pekkarinen 2007, 90- 92.)

Tulevaisuudessa saattaa olla myös mahdollista tehdä täysin uudentyyppistä metsäsuunnittelua, jossa keskitytään kiinteärajaisten ja suurten kuvioden sijasta pieniin yksiköihin, joista voidaan jälkeenpäin muodostaa toimenpidekuvioita. Siinä alustavien kuvioden rajat ja puustotunnukset muodostettaisiin laserkeilaus- ja ilmakuvapiirteiden avulla. Pienimmissä yksiköissä kuviotiedot ovat suuria kuvioita vähemmän keskiarvoistettuja ja niistä voitaisiin muokata paremmin omiin käyttötarkoituksiin soveltuvia käsittelykuvioita. (Heinonen, Leppänen, Pukkala & Gunia, 2008.)

3 TYÖSSÄ KÄYTETYT AINEISTOT

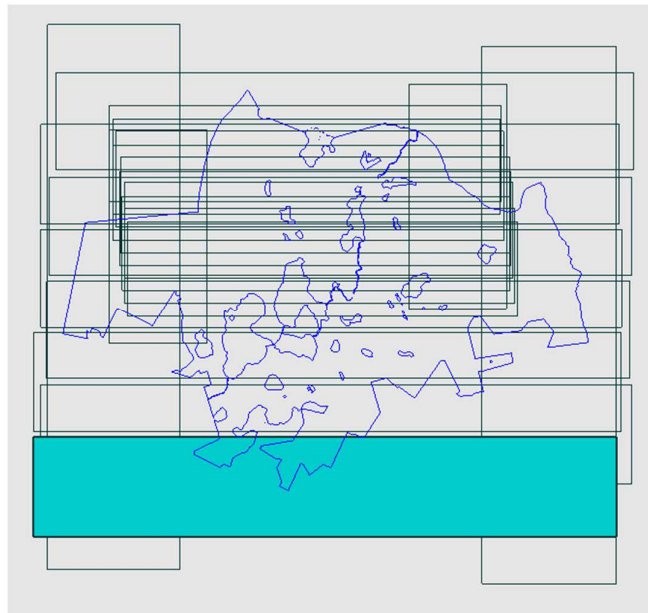
3.1 Lasekeilausaineisto

Laserkeilausaineiston, jota käytetään metsien inventointitutkimuksissa, pulssitiheydet vaihtelevat välillä 0,5-20 pulssia neliömetrillä. Harvapulssisessa aineistossa tiheys on 0,5-2 pulssia/m². Tiheäpulssisessa tiheys on yli 2/m². (Holopainen, Hyyppä & Vastaranta n.d., 27, 29)

Laserkeilausaineistona käytettiin opetusmetsän alueelle vuonna 2010 keilattua tiheäpulssista aineistoa. Aineisto ei ole tasaisen tiheä koko opetusmetsän alueella, vaan tihein osuus on Keskisen Rautjärven pohjoispuolella. Myös siltä alueelta itäisimmät, läntisimmät alueet ja aivan pohjoisin osa jäävät tiheimmän alueen ulkopuolelle.

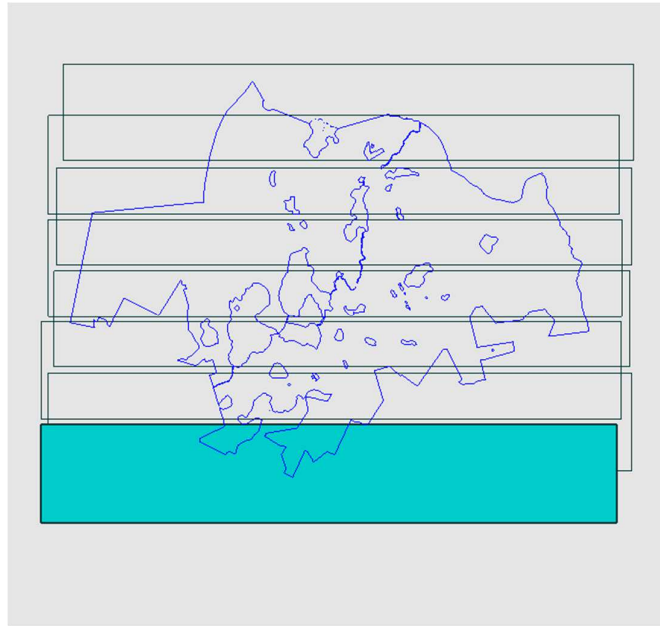
Aineiston keskimääräiset pistetiheydet vaihtelevat eri puolilla opetusmetsää. Tiheimmällä alueella pistetiheys on kaikkien kaikujen osalta 16,3 neliometriä kohden. Vain viimeisten kaikujen osalta vastaava tiheys on 12,97/m². Itä- ja länsiosissa tiheys on keskimäärin kaikkien kaikujen osalta noin 4,39/m² ja viimeisten kaikujen osalta noin 3,36/m². Eteläosassa aineisto on kaikista harvinta. Siellä tiheys on kaikilla kaiuilla 2,95/m² ja viimeisillä 2,29/m².

Keilausaineiston tiheys on saatu aikaan lentämällä useita päällekkäisiä lentolinjoja alueen yli. Kuvassa 1 näkyy LAStools-ohjelmasta otettu kuva tiheästä aineistosta. Kuvassa olevat suorakulmiot kuvaavat alueen yli kulkevia lentolinjoja.



Kuva 1. Tiheän aineiston lentolinjat LAStools-ohjelmassa.

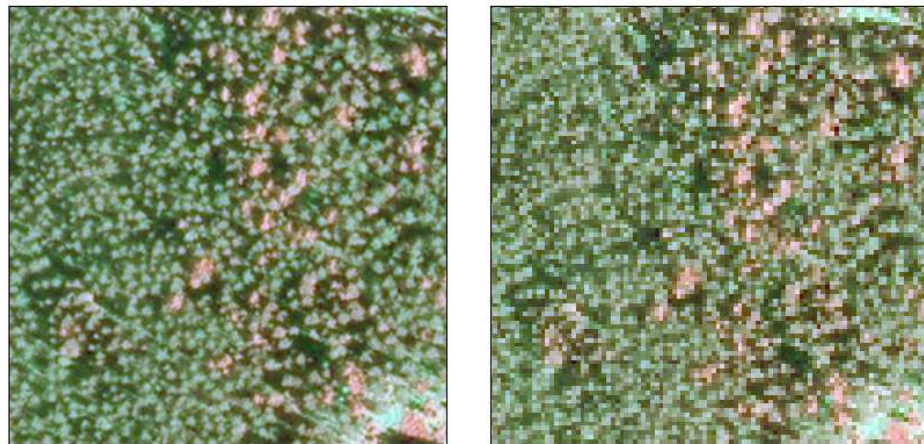
Harvan aineiston pohjana käytettiin samaa laserkeilausta kuin tiheälläkin, mutta lentolinjoista käytettiin vain alimmaisista, koko alueen yli kulkevia lentolinjoja (kuva 2). Tällöin alueen keskimääräiseksi pistetiheydeksi tuli $2,92/m^2$ kaikilla kaiuilla ja $2,28/m^2$ viimeisillä kaiuilla. Tiheys oli vielä tässä vaiheessa liian suuri harvaksi aineistoksi. Aineistolle ajettiin vielä LAsToolsin työkalu lasoverage, millä poistettiin lentolinjoista päällekkäiset pisteet. Tämän jälkeen keskimääräiseksi pistetiheydeksi tuli kaikilla kaiuilla $1,5/m^2$ ja viimeisillä $1,17/m^2$.



Kuva 2. Harvan aineiston lentolinjat LAsTools- ohjelmassa.

3.2 Ilmakuva

Työssä käytettiin ilmakuva-aineistona vuonna 2010 kuvattua digitaalista vääräväri-ilmakuvaa. Sen alkuperäinen pikselikoko vastasi $0,5 \times 0,5$ metriä maastossa. Työtä varten se muutettiin $1,5 \times 1,5$ m kokoiseksi. (Kuva 3.)



Kuva 3. Ilmakuva alkuperäisellä resoluutiolla ja $1,5 \times 1,5$ m pikselikoolla.

3.3 Muut

Työhön tarvittiin myös kartta-aineistot opetusmetsän tilarajoista ja kuviointia rajoittavista tekijöistä, kuten vesistä ja pelloista. Tilarajat saatiin käyttöön opetusmetsän omista aineistoista. Tiedot pelloista ja vesistä hankittiin Maanmittauslaitoksen latauspalvelusta ladatusta maastotietokannasta.

4 LIDAR- AINEISTON ESIKÄSITTELY

Esikäsitelyssä harvasta laserkeilausaineistosta poistettiin lentolinjojen päällekkäisyydet, ja sekä harvalle että tiheälle aineistolle tehtiin korkeuden normalisointi. Esikäsitelyyn käytettiin LAsToolsin työkaluja: lasoverage, lasground ja lasheight.

4.1 Lentolinjojen päällekkäisyyksien poistaminen

ArboLiDAR kuviointikoulutus (2011) mukaan yleisimpiin Arbonautissa tehtäviin aineistonkäsittelyprosesseihin kuuluu muun muassa lentolinjojen päällekkäisyyksien poistaminen. (ArboLiDAR kuviointikoulutus 2011,4). Tässä työssä lentolinjojen päällekkäisyydet poistettiin vain harvasta aineistosta. Tiheässä aineistossa päällekkäisyys tuo laseraineistoon lisää tiheyttä. Päällekkäisyydet poistettiin harvasta aineistosta LAsToolsin lasoverage-työkalulla.

4.2 Korkeuden normalisointi

Käsitlemättömissä aineistoissa pisteiden korkeusarvot olivat absoluuttisia, eli korkeuksia merenpinnasta. Koska segmentoinnissa halutaan käyttää puuston korkeuksia, pisteiden z-koordinaatin arvo muutetaan korkeudeksi maanpinnasta.

Aluksi aineiston pisteistä luokiteltiin erilleen maapisteet. Tähän työssä käytettiin LAsToolsin työkalua lasground. Lasground käyttää hyväksi laserpulssien viimeisiä kaikuja ja antaa niiden pohjalta maapisteille luokan arvoksi 2 ja muille pisteille arvon 1 (lasground_README n.d.).

Kun maapisteet saatiin luokiteltua erilleen, voitiin niiden pohjalta laskea jokaiselle pisteelle korkeus maanpinnasta. Tämä tapahtui työkalulla lasheight.

Lasheight luo maapisteiksi luokitelluista pisteistä TIN (triangulated irregular network)- mallin ja antaa pisteille z-arvot sen mukaan kuinka korkealla ne ovat luodusta mallista. (lasheight_README n.d.).

Korkeus voitaisiin myös normalisoida ArboLiDAR- työkalulla: LiDAR altitude to DZ. Alueelle täytyy tällöin hankkia rasterimuotoinen maanpintamalli. Työkalu laskee pisteiden korkeudet etäisyytenä maanpintamallista. Työssä korkeus normalisoitiin kuitenkin lasgroundilla, koska Arbolidarin

vastaavaa työkalua ei ollut työn tässä vaiheessa vielä käytettävissä. LAS-toolsista käytettiin lisensoimatonta versiota, joten käytön yhteydessä työkalu tuotti aineistoon satunnaista kohinaa.

5 KUVIOINTIRASTERIN TEKEMINEN

Segmentointityökalut käyttävät hyväksi kuviointirasteria. Sillä pyritään kuvaamaan mahdollisimman tarkasti metsän rakennetta. Työssä käytettiin kolmikanavaista kuviointirasteria, jonka attribuutteina olivat pituus, tiheys ja lehtipuuprosentti. Rasterin pikselikoko oli 4 x 4 metriä.

Segmentoinnissa ei ole välttämätöntä käyttää kaikkia tässä työssä käytettyjä attribuutteja, vaan osan voi tarvittaessa jättää pois. (ArboLiDAR kuviointikoulutus 2014).

Kuviointirasterin ensimmäisenä kanavana käytettiin puuston pituutta 85 prosentin korkeudelta. Pituudella 85 prosentin korkeudella tarkoitetaan pituutta jonka alapuolelle jää 85 prosenttia laserpisteistä (ArboLiDAR 2014). Pituudesta ei käytetä maksimiarvoa, jotta mahdolliset virheet voidaan eliminoida. LiDAR- pituus korreloi puuston pituuden kanssa. (ArboLiDAR 2014).

Toisena kanavana käytettiin tiheyttä. Tiheydellä kuvataan kasvillisuudesta heijastuneiden pisteiden suhdetta kaikkiin pisteisiin (ArboLiDAR 2014). Tässä työssä kasvillisuuspisteiksi luokiteltiin yli kahden metrin korkeudella olevat pisteet. Tiheys korreloi puuston pohjapinta-alan kanssa (ArboLiDAR 2014).

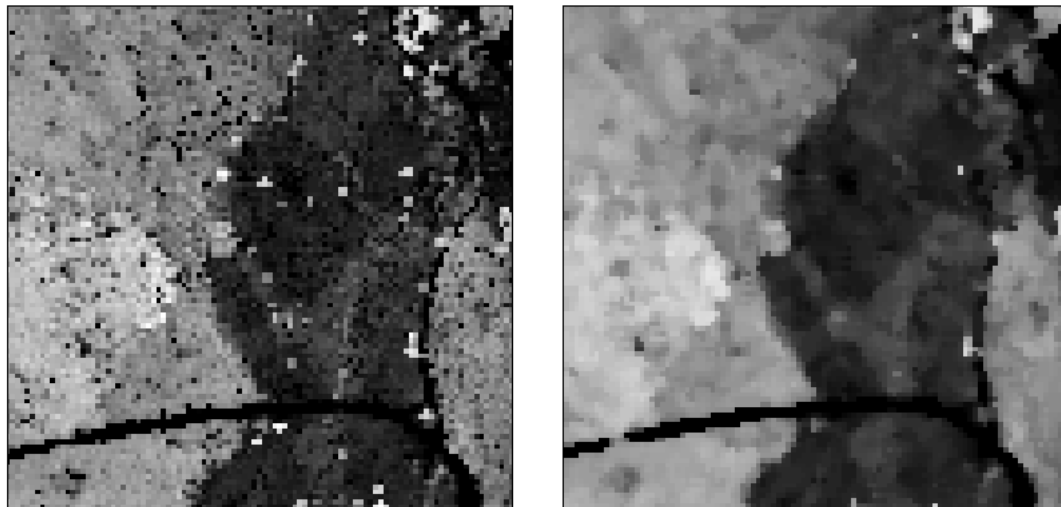
Sekä pituus- että tiheysrasterit tehtiin ArboLiDAR-työkalulla LiDAR to raster.

Kolmantena kanavana käytettiin lehtipuuosuutta. Se laskettiin vääräväri-ilmakuvan pohjalta. Lehtipuuosuuden laskemisessa voidaan käyttää kahta eri menetelmää. Yksi menetelmä on laskea se ilmakuvan eri kanavien erotusten pohjalta. Toinen menetelmä on käyttää apuna maastossa mitattuja referenssikoealoja, joista löytyy tieto lehtipuuosuudesta ja sen tarkka sijainti. Ilmakuvan tekstuuripiirteiden avulla lehtipuuosuus voidaan estimoida koealojen pohjalta koko ilmakuvan alueelle. (Arbolidar 2011, 6-7).

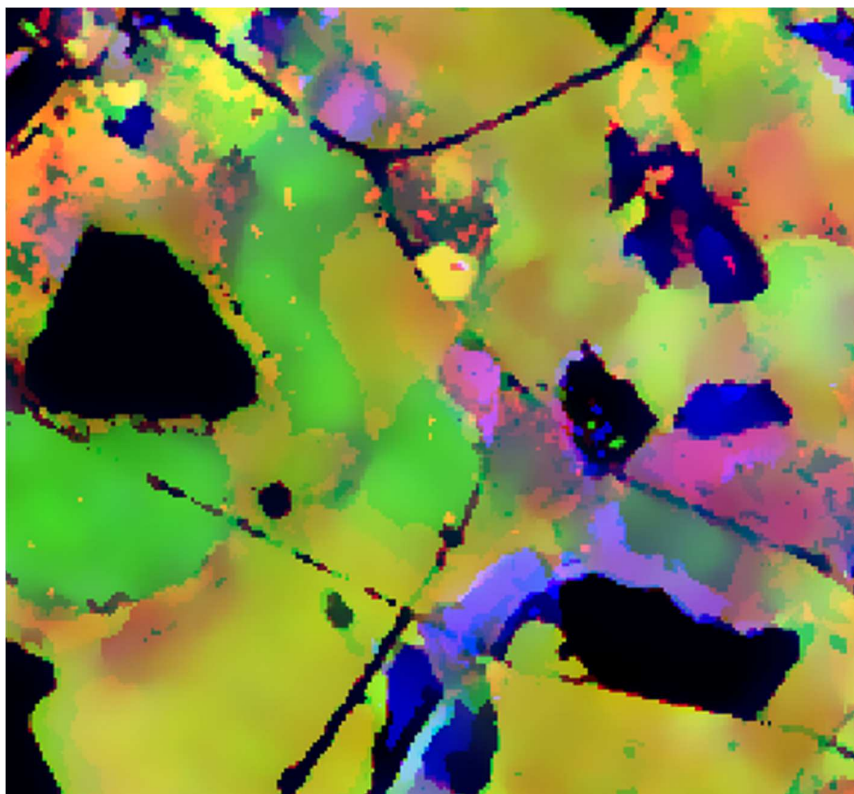
Työssä lehtipuuosuus estimoitii alueelle referenssikoealojen ja ilmakuvan pohjalta. Koealatietoina käytettiin vuosien 2011–2012 aikana mitattuja koealoja ja niiden pohjalta laskettuja puustotunnuksia. Puustotunnukset yhdistettiin pistemuodossa oleviin koealojen sijaintitietoihin ArcMapissa. Estimointi ja rasterin tekeminen tapahtui ArboLiDARin RunModelonRaster-työkalulla.

Ennen kuin rasterit yhdistetään kuviointirasteriksi, niitä pitää suodattaa, jotta lopputuloksesta tulisi tasaisempi, eikä se sisältäisi tarpeetonta tai häiritsevää informaatiota (ArboLiDAR 2014). Työssä rasterit ajettiin kahden eri suodatustyökalun läpi: Meanshift ja Median filter. Suodatusvoimak-

kuutta voidaan tarvittaessa säätää ja sillä on vaikutusta lopullisiin kuvioihin (ArboLiDAR 2014). Tässä työssä suodatukset ajettiin läpi vain oletusparametreilla. Kuvassa 4 on esimerkki pituusrasterin suodatuksesta. Suodatusten jälkeen rasterit yhdistettiin toisiinsa ArcMap:n Composite Bands-työkalulla (Kuva 5).



Kuva 4. Tiheästä aineistosta tehty pituusrasteri ennen suodatusta ja suodatuksen jälkeen.



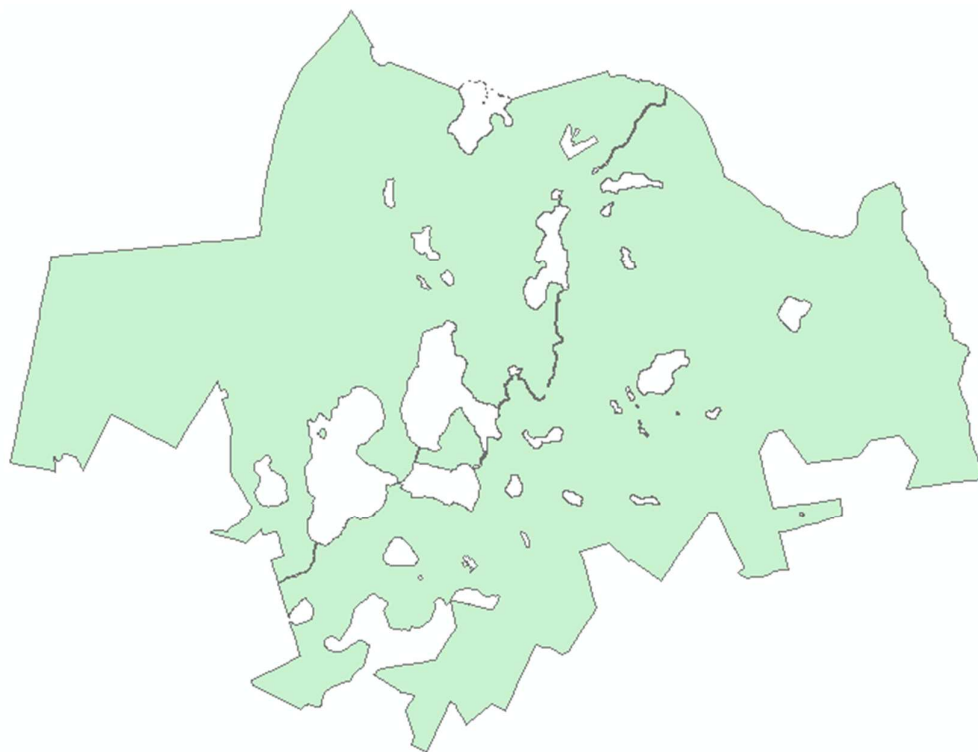
Kuva 5. Suodatetut rasterit yhdistettynä toisiinsa kuviointirasteriksi.

6 TILARAJAT JA MASKIT

Tilarajatiedosto muodostaa rajat, joiden sisällä kuviointi tehdään. Tilarajoihin on myös mahdollista lisätä sisäisiä rajoja, joita yksittäinen kuvio ei voi ylittää. Rajatiedostoon voidaan myös lisätä leikkaavia maskeja, joihin kuvioita ei tehdä ollenkaan.

Työssä tehdyssä kuvioinnissa rajoina käytettiin Evon opetusmetsän ulkorajoja ja kuvioinnin ulkopuolelle jätettiin vesistöt ja pellot (Kuva 6). Tilarajat ovat polygon muodossa ja polygonin sisällä olevat alueet tulevat kuviointiin mukaan. Maskit poistettiin tilaraja-aineistosta ArcMap:n Erase-työkalulla.

Sisäkkäisillä polygoneilla kuvioitavaan alueeseen saadaan aikaan sisäisiä rajoja. Erase-työkalulla polygonista poistetaan osia. Sisäisiä rajoja tehdessä polygonista ei poisteta mitään, vaan se jaetaan useampaan osaan. Silloin alueelle syntyy rajapintoja, joita yksittäinen kuvio ei voi ylittää. Sisäisillä rajoilla voidaan esimerkiksi lisätä kuviointiin sellaisia rajoja joita automaattisella kuvioinnilla ei pystytä tulkitsemaan, mutta joihin halutaan silti saada kuvioraja. Tällaisia ovat esimerkiksi turvemaan ja kivennäismaan rajat. Tässä työssä ei kuitenkaan käytetty sisäisiä rajoja.



Kuva 6. Kuvioinnissa käytetty maskitiedosto.

7 AUTOMAATTINEN KUVIOINTI

7.1 Segmenttien tekeminen

Automaattinen kuviointi aloitetaan segmenttien tekemisellä. Segmentit tehtiin ArboLiDAR-työkalulla Stand Segmentation.

Työkalu muodostaa ensin kuvioitavasta alueesta gradienttikuvan, joka kuvaa arvojen vaihtelua alueella ja sille annetaan kanavakohtaiset painokertoimet. Sen jälkeen alueelle sijoitetaan siemenpisteitä. (ArboLiDAR 2014.) Oletuksena kaikilla kolmella kanavalla oli samansuuruiset painokertoimet, eli 0,3. Tässä työssä käytettiin oletusasetuksia.

Kun siemenpisteet on sijoitettu, työkalu ajaa alueellisen kasvattamisen algoritmin, joissa siemenpisteistä kasvatetaan ”raakakuvioita”. Algoritmi kasvattaa kuvioita siemenpisteiden ympärille käyttäjän määrittämässä naapurustossa. Ikkunakokoa voidaan haluttaessa muuttaa ja se on tavallisesti 4 tai 8 pikseliä. Kuvioita kasvatetaan pikseli kerrallaan siemenpisteiden kanssa samankaltaisimman pikselin suuntaan. Jokainen pikseli liitetään arvojen perusteella optimaalisimpaan kuvioon. (ArboLiDAR 2014.) Kuvassa 7 on esimerkki alustavista segmenteistä.



Kuva 7. Alustavat segmentit muutettuna polygoneiksi.

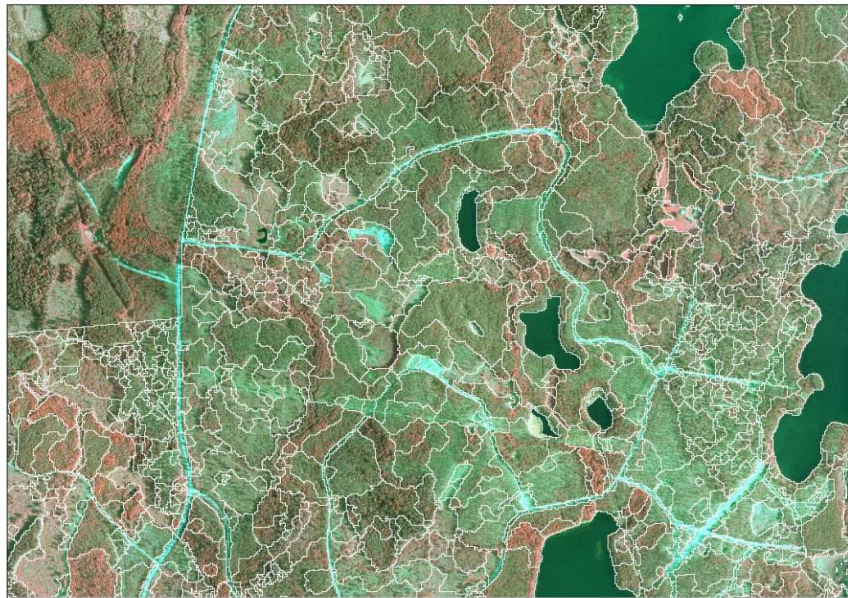
7.2 Segmenttien yhdistely

Seuraavassa vaiheessa segmentoinnissa tuotettuja kuvioita aletaan yhdistää. Siinä käytettiin ArboLiDAR:n Merge Segments-työkalua.

Merge Segments-työkalulle syötetään ensin rajoittavat parametrit, minkä mukaan yhdistely tapahtuu. Yhdistämistyökalu laskee ensimmäiseksi kuvioiden alueelta kuviointirasterin pikselien keskiarvot ja keskihajonnat jokaiselta kolmelta kanavalta. Sen jälkeen se etsii kunkin kuvion naapurikuvioista optimaalisimman. Parametrit määrittelevät kuvioiden keskiarvojen ja keskihajontojen erotuksille ylärajat, jotka rajoittavat yhdistämistä. Jos parametrien määrittämät rajoitteet alittuvat kuvion ja sen optimaalisimman naapurikuvion kesken, kuviot yhdistetään. Kuvioiden täytyy kuitenkin olla molemmin puolin toisilleen optimaalisimmat. Yhdistetylle kuviolle laskeaan keskiarvot ja keskihajonnat uudelleen ja sama prosessi jatkuu. (ArboLiDAR 2014.)

Yhdistämistyökalu voidaan ajaa useaan kertaan. Segmentoinnin ja yhdistelyn aikana kuvioita käsitellään rasterimuodossa. Kun yhdistelyt on saatu tehtyä, rasterimuodossa olevat kuviot muutetaan polygonimuotoon. Muuttamalla rasterimuotoiset kuviot polygoneiksi voidaan myös tutkia, miltä kuvioinnin välivaiheet näyttävät esimerkiksi ilmakuvan päällä. (ArboLiDAR 2014.)

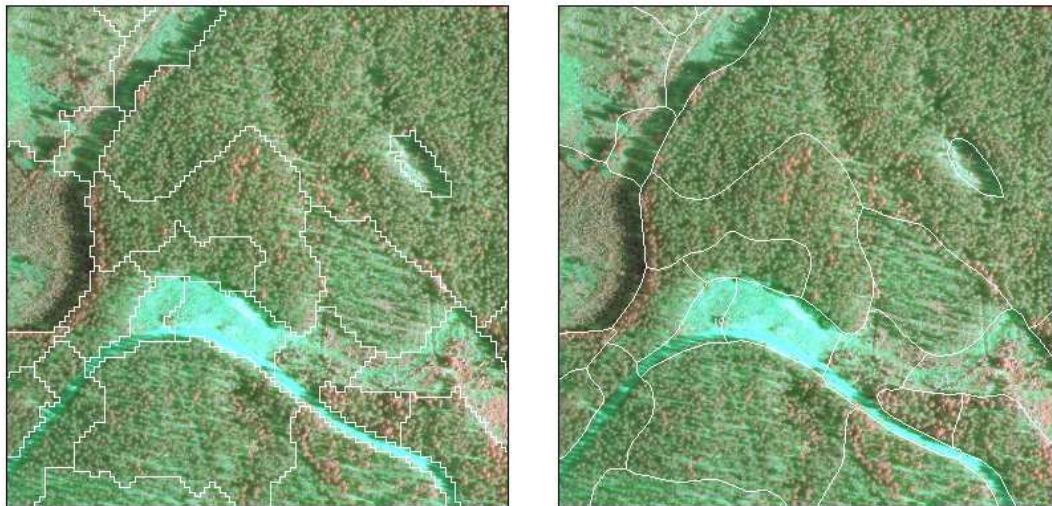
Työssä kuvioinnin välivaiheita tarkasteltiin polygon-muodossa muun muassa ilmakuvan ja kuviointirasterin eri kanavien päällä. Sen avulla voitiin testata eri yhdistelyparametreja ja etsiä sellaiset mitkä toimivat parhaiten. Lopullisissa parametreissa maksimivaihteluksi laitettiin pituudelle 2,6 metriä, tiheydelle 25 prosenttia ja lehtipuuosuudelle 21 prosenttia. Keskihajonnan vaihteluille laitettiin samat arvot. Tiheällä aineistolla tehdyt segmentit yhdistelyn jälkeen näkyvät kuvassa 8.



Kuva 8. Segmentit yhdistelyn jälkeen.

8 VIIMEISTELY

Automaattisen kuvioinnin tuloksena olevien kuvioiden rajat ovat mutkikkaita ja epätasaisia ja ne sisältävät runsaasti tilaa vieviä solmupisteitä. Tämän vuoksi kuviorajat voidaan pyöristää (Kuva 9). Pyöristämisessä voidaan käyttää esimerkiksi ArcMapin Simplify Segments- työkalua tai voidaan käyttää Arbolidarin SimplifyFeatures työkalua. (ArboLiDAR 2014.) Työssä pyöristys tehtiin SimplifyFeatures:lla.



Kuva 9. Kuviorajat ennen pyöristämistä ja pyöristämisen jälkeen.

Työssä vain kaikki yli kahden metrin korkeudella olleet laserkaiut tulkittiin kasvillisuudesta heijastuneiksi. Alle kahden metrin korkuisesta puustosta ei näin ollen voitu saada luotettavaa tietoa. Sen vuoksi kaikki kuviot joiden keskipituus 85 % korkeudella oli alle kaksi metriä, yhdistettiin toisiinsa.

Yhdistely tehtiin laskemalla ensin kuvioille keskipituus suodattamattoman pituusrasterin pohjalta ArboLiDARin Raster Zonal Statistics- työkalulla. Kun työkalu on ajettu, jokaisen kuvion attributteihin tulee tieto kuvion keskipituudesta. Alle kahden metrin kuviot voitiin näin valita Arcmapissa ja yhdistää ne toisiinsa Editorin Merge- työkalulla. Tämän jälkeen mahdolliset moniosaiset kuviot poistettiin ajamalla Editorissa Explode Multi-part-työkalu. Mahdolliset geometriset ongelmat poistettiin myös ArcMapissa ajamalla Repair Geometry- työkalu.

Lopuksi vielä kuvioinnista poistettiin pienet kuviot, jotka ovat metsätalouden kannalta tarpeettomia. Kuvioille ajettiin ArboLiDARin Eliminate Small Features- työkalu. Se yhdistää annetun minimikoon alittavat kuviot viereisen kuvion kanssa, jolla sillä on eniten yhteistä rajaa. Työssä kuvion minimirajaksi asetettiin 500 neliömetriä.

9 TULOSTEN TARKASTELU

Kokonaisuudessaan tiheällä ja harvalla aineistolla tuotetut kuvioinnit olivat melko samanlaisia. Tiheällä aineistolla kuvioinnista tuli kuitenkin hieman isompipiirteistä kuin harvalla. Erot kuvioden koossa ja kuviorajan määrässä olivat kuitenkin pieniä.

Tiheällä aineistolla lopputuloksena oli 3 407 kuviota. Harvalla aineistolla kuvioden määrä oli vain 63 kuviota suurempi, eli 3 470. Samoin kuvioden keskikoko oli molemmilla samaa luokkaa eli noin 0,55 hehtaaria. Tiheällä aineistolla kuvion keskikoko oli noin 101 neliometriä suurempi. Harva aineisto tuotti noin 6,3 kilometriä enemmän kuviorajaa. Suurikokoisin kuvio oli jostain syystä harvalla aineistolla yli kolme hehtaaria suurempi kuin vastaava tiheällä aineistolla. Pienimmän kuvion koko oli molemmilla sama. Vanhaan kuviointiin verrattuna molemmat automaattikuvioinnit olivat huomattavasti pienipiirteisempiä. (Taulukko 1.)

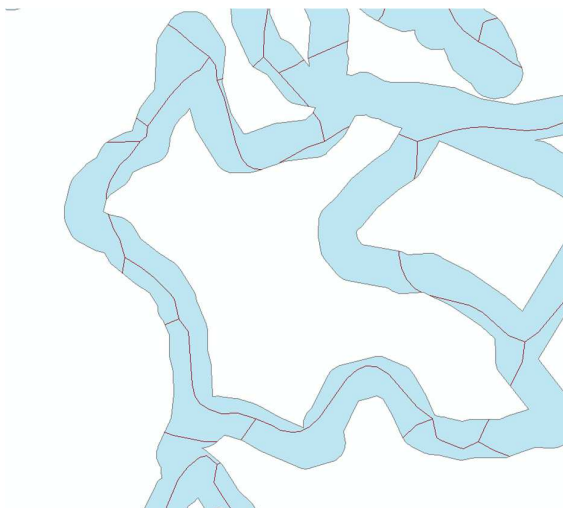
Taulukko 1. Kuviointien vertailua

| | Tiheä aineisto | Harva aineisto | Vanha kuviointi |
|------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Kuvioden määrä | 3407 | 3470 | 1829 |
| Kuvion keskikoko (ha) | 0,556976 | 0,546856 | 1,086601 |
| Suurin kuvio (ha) | 12,186066 | 15,398729 | 50,250236 |
| Pienin kuvio (ha) | 0,000254 | 0,000254 | 0,000253 |
| Kuvioviivan määrä (km) | 1021,051114 | 1027,361467 | 933,697908 |

Tuominen ja Pekkarinen (2007) vertasivat tutkimuksessaan automaattisien segmentointimenetelmien avulla tuotettua kuvioita ihmistyönä tehtyyn kuviointiin. Tutkimuksessa kuviorajan tulkittiin olevan oikea, jos se oli vähintään kymmenen metrin päässä referenssikuvioinnista. (Tuominen & Pekkarinen 2007). Tässä työssä käytettiin samaa kymmenen metrin etäisyyttä kriteerinä, jonka mukaan kaksi kuviorajaa voidaan tulkita olevan samoja.

Kuviointeja vertailtiin tekemällä ArcMapissa jokaiselle niistä kymmenen metrin säteiset puskurivyöhykkeet ja selvittämällä kuinka suuri osa verrattavasta kuviorajasta osuu puskurivyöhykkeelle. Verrattavan kuvion kuviorajoista poistettiin pakolliset kuviorajat, kuten opetusmetsän ulkorajat ja järvien rajat, koska ne pysyvät muuttumattomina.

Jokaisen puskurin kohdalle osuneet viivanpätkät otettiin erilleen omaksi tasokseen. Puskuriin osuneista viivoista tuli mukaan myös sellaisia, joiden ei voida tulkita olevan samaa kuviorajaa (kuva 10). Esimerkiksi viiva saattaa mennä poikittain puskurin yli. Tämän vuoksi samankaltaisen viivan määrä on todellisuudessa pienempi kuin mitä tuloksissa näkyy.



Kuva 10. Puskurivyöhykkeeseen tuli mukaan myös ylimääräistä kuviorajaa.

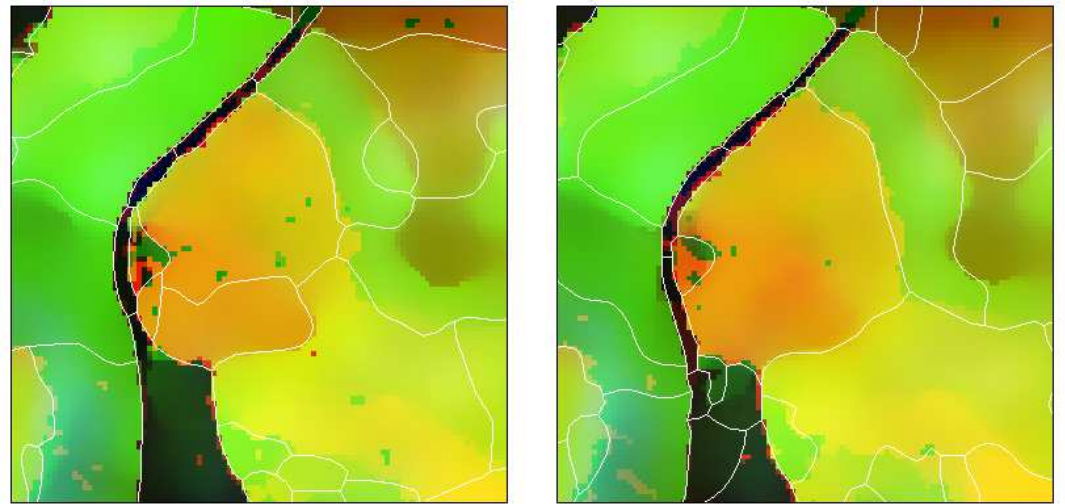
Verrattaessa automaattikuviointeja opetusmetsän vanhaan kuviointiin molempien kuviointien kuvioviivasta noin 56 prosenttia osui vanhan kuvioinnin puskurivyöhykkeelle. Sen mukaan harva aineisto tuotti 531,7 km ja tiheä aineisto 526,6 km vanhan kuvioinnin puskurille osuvaa, eli käyttökel-poista kuviorajaa. Silmämääräisesti katsottuna viivanpätkiä osui puskurivyöhykkeelle usein täysin sattumanvaraisesti, minkä vuoksi automaattikuviointien vertailu vanhaan kuviointiin ei ollut mielekästä. Vanha kuviointi oli hyvin suurpiirteisesti tehty ja kuviointikriteereinä oli käytetty paljon sellaisia tekijöitä, joita automaattikuvioinnissa ei pystytäkään ottamaan huomioon.

Samalla periaatteella vertailtiin myös tiheän ja harvan aineiston kuviointeja. Sen mukaan noin 80 prosenttia harvalla aineistolla tehdyn kuvioinnin kuvioviivasta osuu tiheän kuvioinnin puskurille. Sama tulos tuli myös verrattaessa tiheän aineiston kuviointia harvan aineiston kuviointiin.

Silmämääräisesti tarkasteltuna niissä paikoissa, missä harvan ja tiheän kuvioinneilla on suurimpia eroja, tiheä aineisto tuottaa paremman lopputuloksen. Esimerkiksi kuvassa 11 tiheä aineisto on tuottanut ilmakuvan pohjalta katsottuna järkevämmän näköisen kuvioinnin. Kuvassa 12 näkyy samat kuviot kuviointirasterin päällä. Siinä näkyy, että virheet johtuvat mahdollisesti harvan aineiston kuviointirasterin suuremmasta epätasaisuudesta. Esimerkiksi aukot puiden välissä tuottavat siinä enemmän heittoa.



Kuva 11. Vasemmalla harvalla ja oikealla tiheällä aineistolla tehty kuviointi



Kuva 12. Vasemmalla harvalla ja oikealla tiheällä aineistolla tehty kuviointi

Kumpaakaan kuviointia ei voi sinällään käyttää lopullisina kuvioina, vaan ne vaativat muokkausta. Kuviot muodostuivat huonosti sellaisissa paikoissa jossa puuston vaihtelu on pientä. Niissä kuviorajoille ei löytynyt selkeitä perusteita. Sellaisiin paikkoihin, joissa puusto oli erityisen suurikokoista ja harvassa taas muodostui paljon hyvin pieniä kuvioita (kuva 13). Molemmat kuvioinnit tuottivat hyvin käyttökelpoista rajaa sellaisiin paikkoihin joissa oli selkeät kuviorajat. Esimerkiksi aukkojen ja taimikoiden reunoille muodostui hyvää kuviorajaa (kuva 14).



Kuva 13. Suurikokoisissa ja harvapuustoisissa metsissä kuviot jakautuvat pieniin osiin. Vasemmalla harvan ja oikealla tiheän aineiston kuviointi.



Kuva 14. Selkeisiin rajakohtiin kuviorajat muodostuivat hyvin. Vasemmalla harvan ja oikealla tiheän aineiston kuviointi.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn perusteella vaikuttaa siltä, että tiheällä laserkeilausaineistolla saadaan hieman todenmukaisempi ja suuripiirteisempi kuviointi kuin harvalla aineistolla. Molemmat kuitenkin vaativat editointia, ennen kuin niitä voidaan käyttää lopullisina kuvioina.

Tässä työssä automaattisella kuvioinnilla pyrittiin pääsemään mahdollisimman lähelle lopullista kuviointia. Tämä tarkoitti sitä, että kuviointi ajettiin läpi parametreilla, joilla sallittiin suhteellisen suuri vaihtelu yhden kuvion eri piirteille. Tällä tavalla kuvioista pyrittiin saamaan mahdollisimman suuria, ilman että niiden laatu kärsisi. Automaattinen kuviointi ei kuitenkaan pysty ottamaan huomioon kaikkia kuvioinnin perusteena mahdollisesti käytettäviä tekijöitä ja sellaisissa paikoissa, joissa metsikön rakenteen vaihtelu on suhteellisen pientä, kuvioraja asettuu helposti väärälle kohdalle. Tämän vuoksi saattaa olla parempi ajaa kuviointi läpi tiukemmillä parametreilla. Kun esimerkiksi pituuden maksimivaihtelu kuvion sisällä on 2,6 metriä, kuten tässä työssä oli, kuvioraja voi joskus tulla huonoon paikkaan. Alle 2,6 metrin pituusvaihtelu voi olla järkevä peruste kuviorajan tekemiselle.

Käytettäessä tiukempia parametreja syntyy paljon pieniä kuvioita, mutta samalla syntyy myös enemmän käyttökelpoista kuviorajaa. Sen pohjalta suunnittelija voi muokata kuvioista omien tavoitteidensa mukaiset. Jos kuitenkin halutaan vain jakaa metsikkö karkeasti isoiksi kuvioiksi pelkästään puuston rakenteen perusteella, voidaan käyttää myös väljempää parametreja.

Tiheällä aineistolla saadaan aikaan laadukkaampi kuviointi, mutta käytännössä sillä ei todennäköisesti ole kovin suurta merkitystä suunnittelun kannalta. Jos suunniteltavalla alueella on valmiiksi käytettävissä tiheää laserkeilausaineistoa, kannattaa sitä käyttää myös kuvioinnissa, mutta saatettavat hyödyt eivät ole kuitenkaan niin suuret, että kuviointia varten kannattaisi varta vasten keilata tiheää laseraineistoa.

LÄHTEET

- ArboLiDAR kuviointikoulutus 2011. 2011. Arbonaut Oy ltd.
- ArboLiDAR kuviointikoulutus 2014. 2014. Arbonaut Oy ltd.
- Heinonen, T., Leppänen, V., Pukkala, T. & Gunia, M. 2008. Dynaamisiin käsittelykuvioihin perustuva metsäsuunnittelu. Metsätieteen aikakauskirja 4/2008: 281–293. Viitattu 17.12.2014.
<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff08/ff084281.pdf>
- Holopainen, M., Hyypä, J., Vastaranta, M., & Hyypä, H. 2011. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos. Geodeettinen laitos. Aalto-yliopisto. Viitattu 1.12.2014.
http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Holopainen_et_al.pdf
- Holopainen, M., Hyypä, J., Vastaranta, M. 2013. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. Helsingin yliopisto. Viitattu 14.1.2015.
- Holopainen, M., Hyypä, J., Vastaranta, M. n.d. Lasermittaukset metsävarojen hallinnassa. Helsingin yliopisto.
- Kansallinen metsäohjelma 2015. 2008. Maa- ja metsätalousministeriö. Viitattu 1.12.2014
http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/5ywg0T9jr/3_2008FI_netti.pdf
- lasground_README. Käyttöohje. 14.6.2014. Rapidlasso GmbH.
- lasheight_README. Käyttöohje. 14.6.2014. Rapidlasso GmbH.
- Metsätilastollinen vuosikirja. 2013. Metsäntutkimuslaitos. Viitattu 1.12.2014.
http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2013/vsk13_01.pdf
- Poso, S. 1997. Metsätalouden suunnittelun perusteet. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja
- Sell, R. 2002. Segmentointimenetelmien käyttökelpoisuus ennakkokuvioinnissa. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002: 499–507. Viitattu 1.12.2014.
<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff02/ff023499.pdf>
- Tuominen, S., Pekkarinen, A. 2007. Kuvioraja-aineiston virheiden korjaaminen numeeristen ortoilmakuvien ja automaattisen segmentoinnin avulla. Metsätieteen aikakauskirja 2/2007: 87–100. Viitattu 4.12.2014.
<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff07/ff072087.pdf>